

плексную модель, где просматривается единая логика, единый почерк и единый взгляд, а главное, структурная и функциональная целостность, где составные части соединены, согласованы и составляют единую моделирующую систему. Увязка разнохарактерных задач интеграции осуществлена путем согласования межсистемных связей пяти блоков: сырье – транспорт – производство продукции – транспорт – потребитель.

- 1.Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей. – М.: Мир, 1984. – 496 с.
- 2.Павлов И.Д., Радкевич А.В., Павлов Ф.И. Исследование системотехнических и логистических условий по интеграции участников сложных проектов // Вісник ПДАБА. – Днепропетровск: ПДАБА, 2007. – №11. – С.38-44.
- 3.Оре О. Теория графов. – М.: Наука, 1980. – 336 с.
- 4.Павлов И.Д. Модели управления проектами. – Запорожье: ЗГИА, 1999. – 316 с.

Получено 26.09.2011

КОМУНАЛЬНЕ ГОСПОДАРСТВО

УДК 577.4 : 658.382.3 : 628.31

В.В.БЕРЕЗУЦКИЙ, д-р техн. наук

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»

ФРАКЦИОНИРОВАННОЕ ЭЛЕКТРОКОАГУЛИРОВАНИЕ ПРИМЕСЕЙ В ВОДНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Рассматриваются теоретические основы фракционированного электрокоагулирования примесей в водной технологической среде, основанного на результатах выполненных исследований и анализа научной информации, опубликованной в литературе. Разработанная теория фракционированного электрокоагулирования обеспечивает высокую эффективность процесса извлечения примесей из водных сред при минимизации энергопотребления и затрат материалов.

Розглядаються теоретичні основи фракціонованої електрокоагуляції домішок у водному технологічному середовищі, що ґрунтується на результатах виконаних досліджень і аналізу наукової інформації, опублікованої в літературі. Розроблена теорія фракціонованої електрокоагуляції забезпечує високу ефективність процесу витягання домішок з водних середовищ при мінімізації енергоспоживання і витрат матеріалів.

In the article theoretical bases of fractionating electro-coagulation of admixtures are examined in a water technological environment based on the results of the executed researches and analysis of scientific information, published in literature. Developed theory of fractionating electro-coagulation, provides high efficiency of process of extraction of admixtures from water environments during minimization of energy consumption and expenses of materials.

Ключевые слова: теория, фракционированное электрокоагулирование, водные среды, производство, очистка, аппарат, эффективность, энергозатраты, материалоемкость.

В машиностроении водные технологические среды используются как смазочные, охлаждающие и моющие средства. Холодная обработка многих металлов резкой вообще невозможная без их использования. Широкого распространения они приобрели в случае обработки металлов давлением. По объемам сбросов стоковых вод производства, где применяются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), занимают четвертое место среди других отраслей промышленности. Среди них часть стоковых вод, что образовалась за счет отработанных трансформированных СОЖ, потерь масла из гидравлических и других систем, составляет 40-60%, а их объемы могут достигать 50 м^3 на сутки [1]. Существующие технологии очистки и регенерации водных промышленных сред требуют совершенствования и разработки новых подходов к технологиям и конструкциям аппаратов.

Электрохимические методы нашли широкое применение в очистке водных технологических сред от загрязняющих их примесей различной степени дисперсности. Эти способы очистки основаны на химических и физических процессах, которые происходят в электролите, в качестве которого используется водная среда, при пропускании через него электрического тока [2].

Метод электрофлотации применяется для очистки водных сред кожевельных заводов [3], для удаления из жидкости жира [4], нефтепродуктов [5] и т.д. Электрофлотация отличается от обычной флотации тем, что при электролизе можно получить пузырьки газа малого размера и регулировать их [6]. Несмотря на конструктивные различия, действие электрофлотационных аппаратов основано на одних и тех же принципах. Так, электроды выполнены или в виде пластин, помещенных вертикально, или в виде решеток, расположенных горизонтально одна над другой для предупреждения возникновения внутри жидкости циркуляционных потоков. Иногда используют подвижные электроды, что позволяет регулировать расстояние между ними.

Задача настоящей работы – рассмотреть новый подход к повышению эффективности применения коагулянта и электролизных газов в электрокоагуляционных аппаратах очистки с помощью метода фракционированного коагулирования примесей, используя теорию активных соударений.

При электрокоагулировании примесей в водных средах необходимо довести эффективность извлечения ингредиентов в каждой из n камер аппарата коагулирования до 100% и при этом уменьшить энергетические затраты.

Можно записать, что

$$\sum_1^n \frac{dC_m}{dt} = f(n^k, n^n) = f(k'). \quad (1)$$

Исходя из того, что взаимодействуют две разные частицы в водной среде, поэтому для определения числа столкновений частиц коагулянта с частицами, растворенными в среде (не считая число столкновений частиц коагулянта друг с другом), можно записать,

$$\sum_1^n \frac{dC_m}{dt} = (N_1 N_2 (r_1 + r_2)^2 \sqrt{\frac{8\pi RT(M_1 - M_2)}{M_1 M_2}}) P e^{-E^*/RT}. \quad (2)$$

Исследованиями установлено, что соотношение коагулянта и коагулируемого вещества (по весу), находится в отношении 1:1 или 1,1:1, а также принимая во внимание размеры гидроксидов анодорастворенного железа $(1-3) \times 10^{-6}$ (м), и $R = 1,9872$ при $T = 293,1$ К, поэтому выражение (2) можно записать в виде:

$$\sum_1^n \frac{dC_m}{dt} = 4PN_1^2 \cdot 10^{-12} \sqrt{\frac{14631,1(M_1 - M_2)}{M_1 M_2}} e^{-E^*/582,45}. \quad (3)$$

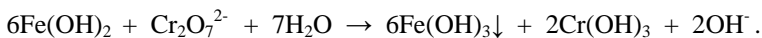
Энергия активации определяется из выражения $E^* = -AP$ [1]. Выражение (3) запишем как:

$$\sum_1^n \frac{dC_m}{dt} = N_1^2 483,8 \cdot 10^{-12} \sqrt{\frac{(M_1 - M_2)}{M_1 M_2}} e^{A/293,1}. \quad (4)$$

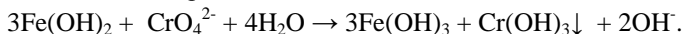
Фракционированное коагулирование основано на научно обоснованном сочетании последовательно протекающих процессов, в перемещающемся потоке очищаемой водной среды, которые предусматривают активное перемешивание с потоком ламинарного характера течения, и который далее переходит через сжимающее поток отверстие в следующую камеру, где все повторяется снова. Для реализации рассмотренного фракционированного коагулирования на практике, в проточных электрокоагуляторах, необходимо воспользоваться известными критериями подобия и уравнениями, описывающими течение жидкости. Исходя из вышесказанного, можно представить схематично аппарат для электрохимической обработки водной среды, как открытый канал со сложными участками, каждый из которых выполняет поставленную задачу, определяемую эффективностью процесса извлечения из водной среды примесей с наименьшим их остаточным содержанием.

Сущность процесса очистки водной технологической среды от хрома заключается в окислении трехвалентного хрома до шестивалент-

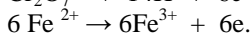
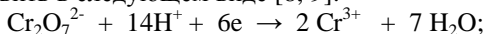
ного и изъятие образовавшихся при электрокоагуляции комплексов из жидкости. В слабокислой или нейтральной среде с применением электрогенерированного коагулянта процесс протекает по уравнению [7]



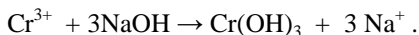
В слабощелочной среде –



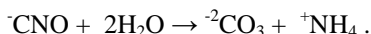
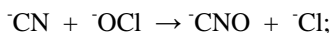
Перевод с шестивалентной в трехвалентную формы хрома можно представить в следующем виде [8, 9]:



Восстановление хрома лучше выполнять в кислой среде ($\text{pH} \leq 4$), а восстановленный хром – в щелочной среде ($\text{pH} \geq 9$)



Очистку от цианидов проводят исходя из условия, что цианиды железа $^{-3}\text{Fe}(\text{CN})_6$, $^{-4}\text{Fe}(\text{CN})_6$ не ядовиты, однако при определенных условиях они могут распадаться, образуя другие ядовитые формы – $^{-2}\text{Zn}(\text{CN})_4$, $^{-2}\text{Cu}(\text{CN})_3$ и др. [10]. Не ядовитые формы цианидов образуются в процессе электролиза воды с использованием железных электродов. Принимая во внимание достаточно значительное количество хлора в водной технологической среде, необходимо принять во внимание реакции, которые могут протекать между цианидами и гипохлоритным ионом, в результате чего могут образовываться карбонатный и аммонийный ионы [11]. Схематично эти реакции можно представить в виде:



Эти реакции благоприятно протекают в щелочной среде, а в кислой их выполнение нежелательно и даже опасно для здоровья людей.

Исследования выполнялись на лабораторной установке с железными электродами [10]. Время процесса электролиза составило в общем 30 с. Величина электрического тока 0,9-1,1 А. Исходная масса анодов – $0,34 \cdot 10^{-5}$ кг. Содержание ионов в воде и показатель pH определялись по стандартной методике. В таблице приведены исходные данные и результаты очистки.

Из результатов таблицы следует, что наиболее эффективно процесс очистки происходит при pH, близкому к нейтральному, и увеличении времени процесса. Эти параметры характеризуют то, что лучшие условия процесса очистки при большем количестве электрогенерированного коагулянта.

Исходные данные и результаты электрокоагуляционной очистки

№ п/п	Время, с	Cr, 10 ⁻³ г /дм ³	Cu, 10 ⁻³ г /дм ³	Fe, 10 ⁻³ г /дм ³	Ni, 10 ⁻³ г /дм ³	PH
Проба 1						
1	Исходная	215	63,7	0,7	0,2	4,47
2	12	194,5	4,3	1,2	-	4,7
3	18	103,25	3,7	-	-	4,8
4	24	91,0	2,8	0,5	-	5,0
5	30	73	2,5	1	-	5,2
Проба 2						
1	Исходная	280	2,5	5,2	0,087	2,8
2	12	280	2,1	4,2	-	2,8
3	18	275	1	3,0	-	3,2
4	24	250	0,8	4,7	-	3,5
5	30	230	0,7	17,4	-	3,8
Проба 3						
1	Исходная	152	0,08	0,4	0,09	7,44
2	12	9	-	0,4	-	7,5
3	18	8	-	0,8	-	7,7
4	24	6	-	2,4	-	7,8
5	30	0	-	1,5	-	8,1

Полученные зависимости процессов коагулирования описываются полиномиальными зависимостями:

$$\text{хром} - y = 1389,2e^{-1,2448x} \text{ при } R^2 = 0,90; \quad (5)$$

$$\text{медь} - y = 26,182e^{-1,3788x} \text{ при } R^2 = 0,95; \quad (6)$$

$$\text{никель} - y = 12,304e^{-1,4133x} \text{ при } R^2 = 0,99. \quad (7)$$

Сравним полученные зависимости с выражением (4) и запишем в виде:

$$1389,2e^{-1,2448x} = N_1^2 483,8 \cdot 10^{-12} \sqrt{\frac{(M_1 - M_2)}{M_1 M_2}} e^{A/293,1}. \quad (8)$$

Далее из равенства можно определить N и A :

$$N = \sqrt{\frac{1389,2 \cdot 10^{12}}{483,8 \sqrt{\frac{(M_1 - M_2)}{M_1 M_2}}}}; \quad (9)$$

$$A = -364,8509X. \quad (10)$$

Исходя из данных, приведенных в [10], подставим значения M в выражение (9) для молекулярных масс гидроксидов коагулянта железа и коагулируемых частиц хрома, меди и никеля.

Для хрома

$$\sqrt{\frac{(M_1 - M_2)}{M_1 M_2}} = \sqrt{\frac{106,87 - 103}{106,87 \times 103}} = 0,01875 \quad (11)$$

и $N_{Cr+Fe} = 12,37499 \cdot 10^6$.

Для меди

$$\sqrt{\frac{(M_1 - M_2)}{M_1 M_2}} = \sqrt{\frac{106,87 - 97,56}{106,87 \times 97,56}} = 0,029882 \quad (12)$$

и $N_{Cu+Fe} = 9,80266 \cdot 10^6$.

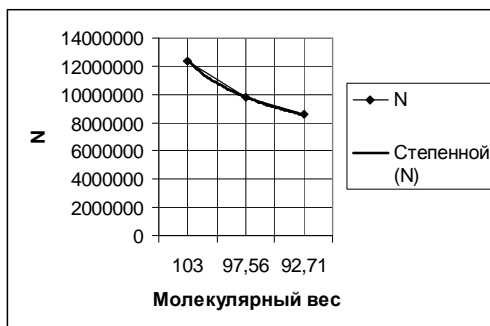
Для никеля

$$\sqrt{\frac{(M_1 - M_2)}{M_1 M_2}} = \sqrt{\frac{106,87 - 92,71}{106,87 \times 92,71}} = 0,039116 \quad (13)$$

и $N_{Ni+Fe} = 8,567818 \cdot 10^6$.

Зависимость, полученная в результате определения N и представленная на рисунке в виде тренда, описывается следующим полиномом при $R^2 = 1$:

$$y = E + 07x^{-0,3348} \quad (14)$$



Зависимость N от молекулярных весов коагулирующих частиц

Таким образом, получено математическое выражение для определения количества коагулируемых частиц для систем, состоящих из коагулянта, и частиц, коагулируемых при процессах электрокоагуляции, а также определено число активных соударений для коагулянта, хрома, меди и никеля, выполняемых методом фракционированного коагулирования примесей.

1. Горчаков П.А. Анализ существующих тенденций создания экологично безопасных смазочно-охлаждающих жидкостей / П.А. Горчаков // Научные и технические аспекты охраны окружающей природной среды: Обзорн. информ. – М.: ВНИТИ, 2005. – №5. – С.1-120 с.
2. Электрохимическая очистка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecolog-alfa.kalg.ru/index.html> - 2010.
3. Матов Б.М. Электрофлотационная жироловка / Матов Б.М., Романчук М.В., Шубин Р.П. // Мясная индустрия СССР. – 1970. – №100. – 24 с.
4. Физико-химическая очистка высокоэмульгированных нефтесодержащих сточных вод / Карелин Я.А., Тугов В.Н., Езирский Н.Т., Русак А.А. // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1968. – №8. – 115 с.
5. Грановский М.Г. Электрообработка жидкостей / Грановский М.Г., Лавров И.С., Смирнов О.В. – Л.: Химия, 1976. – 216 с.
6. Андреев А.В. Электрокоагуляция шламов и силивинитовых пульп / А.В. Андреев, Е.Г. Евецкий // Химическая промышленность. – 1971. – №8. – 37 с.
7. Киреев В.А. Курс физической химии / В.А. Киреев. – М.: Химия, 1978. – С.654-656.
8. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. Физико-химические основы процесса коагуляции / Когановский А.М., Клименко Н.А., Левченко Т.М. и др. – М.: Химия, 1983. – 288с.
9. Кульский Л.А. Теоретическое обоснование технологии очистки воды / Л.А. Кульский. – К.: Наук. думка, 1968. – 128 с.
10. Краткий химический справочник / Под ред. А.А. Потехина и А.И. Ефимова. – Л.: Химия, 1991. – 432 с
11. Панов В.А. Особенности процесса очистки методом электрофлотации / В.А. Панов, Ж.А. Кравченко // Электрохимия. – 1974. – Т.Х. – Вып.9. – С.1424-1431.

Получено 03.11.2011

УДК 628.16

И.Н.ЧУБ, канд. техн. наук

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Рассматривается сорбционный метод очистки высококонцентрированных сточных вод. Приводится технологическая схема для безотходной переработки концентрированных растворов. Дана оценка полученным результатам.

Розглядається сорбційний метод очистки високонцентрованих стічних вод. Приводиться технологічна схема для безотходної переробки концентрованих розчинів. Дано оцінку отриманим результатам.

The sorption method of the clearing concentrated sewage water is considered. The technological scheme for wasteless processing of the concentrated solutions is resulted. The received results an estimation is given.

Ключевые слова: хлориды, отработанные регенерационные растворы, модифицированные цеолиты, умягчение, селективность, фильтроцикл.